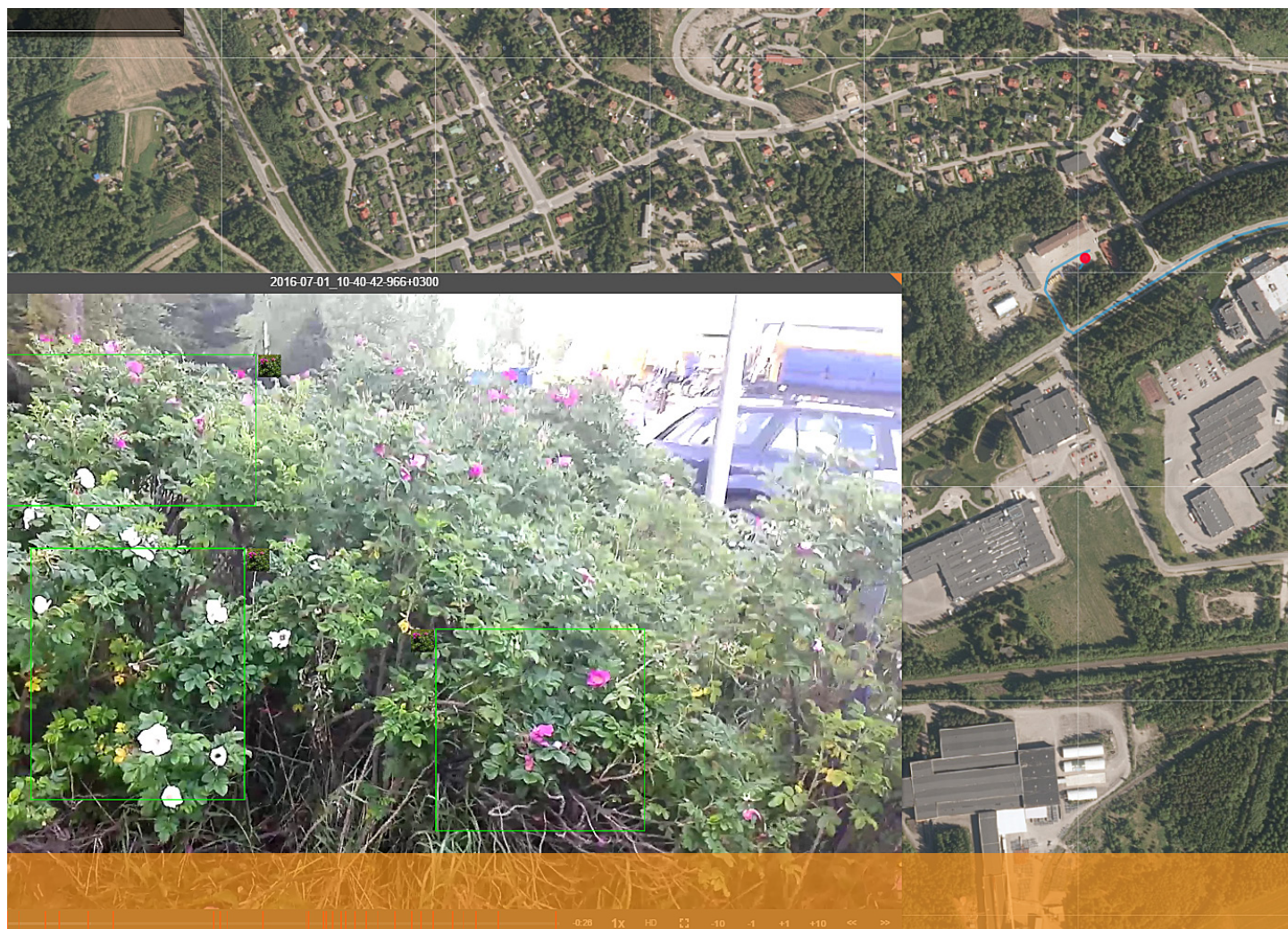


Markus Melander
Petri Hienonen
Tuula Karhunen
Laura Soosalu

Konenäkö ja automatisoitu tiedon tuottaminen viheralueista Inventointipilotti 2016



Markus Melander, Petri Hienonen,
Tuula Karhunen, Laura Soosalu

Konenäkö ja automatisoitu tiedon tuottaminen viheralueista

Inventointipilotti 2016

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 55/2016

Liikennevirasto
Helsinki 2016

Kannen kuva :Vionice Oy

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-344-6

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Markus Melander, Petri Hienonen, Tuula Karhunen ja Laura Soosalu: Konenäkö ja automaatio tiedon tuottaminen viheralueista. Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki 2016. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 55/2016. 25 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-344-6.

Avainsanat: Konenäkö, digitalisaatio, viheralueet, hoito, kasvit, inventointi

Tiivistelmä

Viherhoito on maanteiden hoidossa merkittävä menoerä ja tieto viheralueista on toiminnan kannalta tärkeä osa kokonaisuutta. Parempi tieto parantaa toimintaa ja johtamisedellytyksiä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka viheralueiden osalta tapahtuvaa inventointia voidaan tehostaa hyödyntämällä edullisia päivittäiseen työhön integroituvia teknisiä menetelmiä.

Tutkimusprosessi toteutettiin kaksiosaisena. Ensimmäinen vaihe oli viherhoidon ja hoitourakoinnin tai sitä vastaavan työprosessin yhteydessä tapahtuva ympäristön kuvaaminen älypuhelimella. Tässä vaiheessa älypuhelimella kuvattiin viheralueiden kasvillisuutta ja kierrettiin viheralue sen pinta-alan määrittämiseksi. Lisäksi pyrittiin tunnistamaan mahdollisia videodokumentoinnista syntyviä hyötyjä. Toisessa vaiheessa selvitettiin kaksi asiaa: a) onko mahdollista tuottaa viheralueiden pinta-alat älypuhelinsovelluksella maastossa liikkumalla ja 2) Miten konenäkö soveltuu kasvien tunnistamiseen maastotöiden yhteydessä otetusta videokuvasta.

Tutkimuksen aikana päädyttiin testaamaan myös viheralueiden pinta-alojen määrittämistä ilmakuvien tai laserkeilausaineistojen avulla. Tämä siksi, että haluttiin hakea mahdollista toista menetelmää sen jälkeen, kun havaittiin, että viherhoidon prosesseissa ei viheralueiden kiertäminen ole vallalla oleva toimintatapa nykyisissä työprosesseissa.

Tutkimus on toteutunut hyvin ja tuloksina voidaan raportoida:

Viheralueiden pinta-alojen inventointia voidaan toteuttaa älypuhelimilla siten, että puhelin pidetään kädessä ja sillä on avoin katveeton yhteys taivaalle. Menetelmä tuottaa kokeilujen perusteella keskimäärin pienellä otoksella alle 10 % virheen mitatuille pinta-aloille. Tilastollista kattavuutta otos ei edusta, mutta on todennäköistä, että pinta-ala tiedot saadaan toimintamallin muutoksella riittävällä tarkkuudella, jotta niitä voidaan hyödyntää eri toiminnoissa.

Maanmittauslaitoksen avoimen ilmakehän aineiston käyttäminen konenäöllä viheralueiden pinta-alojen inventointiin soveltuu viheralueiden koon määrittämiseen, mutta sillä ei voida määrittää tarkasti niittoalueiden pinta-aloja. Tähän tarvitaan tukevaa materiaalia.

Konenäön toiminta kasvien tunnistamisessa osoittautui toimivaksi. Malliaineistoa vastaan konenäkö tunnisti yli 96 % kasveista oikein. Mahdollinen laajamittainen järjestelmän käyttöönotto edellyttäisi liiketoiminnallisten hyötyjen arviointia.

Markus Melander, Petri Hienonen, Tuula Karhunen och Laura Soosalu: Den optiska läsningen och automatiska data produktion av grönområdena. Trafikverket, teknik och miljö. Helsingfors 2016. Trafikverkets undersökningar och utredningar 55/2016. 25 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-344-6.

Sammanfattning

Skötsel av grönområden är en betydande utgiftspost inom drift av landsvägar, och information om grönområden utgör en viktig del av helheten med tanke på verksamheten. Bättre information förbättrar verksamheten och ledningsförutsättningarna. Syftet med den här undersökningen var att ta reda på hur inventeringen av grönområdena kan effektivieras genom att utnyttja förmånliga tekniska metoder som integreras i det dagliga arbetet.

Undersökningsprocessen genomfördes i två faser. Under den första fasen videofilmade man med en smarttelefon miljön i samband med skötseln av grönområdet och driftsentreprenaden eller någon annan motsvarande arbetsprocess. Under den här fasen videofilmade man växtligheten på grönområdena och gick runt grönområdet för att bestämma dess areal. Dessutom försökte man identifiera eventuella andra fördelar med videodokumenteringen. I den andra fasen utreddes två saker: 1) om det är möjligt att få reda på grönområdenas arealer med en smarttelefonapplikation då man rör sig i terrängen och 2) hur optisk läsning lämpar sig för identifiering av växter från videobilder som tagits i samband med terrängarbeten.

Under undersökningens gång testade styrningsgruppen också mätning av grönområdenas arealer med hjälp av flygbilder eller laserskanningdata. Detta gjordes för att man ville hitta en alternativ metod efter upptäckten, att man i de nuvarande arbetsprocesserna vid skötseln av grönområdena inte mera rutinmässigt går runt på grönområdena.

Undersökningen lyckades väl och som slutresultat kan man rapportera följande:

Inventeringen av grönområdenas arealer kan göras med smarttelefoner så, att telefonen hålls i handen och har skuggfri förbindelse uppåt. Metoden ger enligt försök med i medeltal små sampel en felmarginalen som är mindre än 10 procent på de uppmätta arealerna. Samplet representerar inte någon statistisk täckning, men det är sannolikt att man genom att ändra verksamhetsmodellen kan få fram tillräckligt noggranna uppgifter om arealer för att de ska kunna utnyttjas inom olika funktioner.

Användningen av Lantmäteriverkets öppna flygbildsmaterial vid optisk läsning för att inventera grönområdenas arealer lämpar sig för att fastställa grönområdenas storlek. Men man kan inte på så sätt noggrant fastställa slätterarealerna. Detta förutsätter att man använder stödmaterial.

Optisk läsning visade sig fungera väl för att identifiera växter. Den optiska läsningen identifierade 96% av växterna korrekt, jämfört med referensmaterialet. Om man vill ta i bruk systemet i större omfattning skulle detta förutsätta en utvärdering av de ekonomiska fördelarna.

Markus Melander, Petri Hienonen, Tuula Karhunen and Laura Soosalu: Computer vision and automated data production from green areas. Finnish Transport Agency, Technology and Environment. Helsinki 2016. Research reports of the Finnish Transport Agency 55/2016. 25 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-344-6.

Keywords: computer vision, grounds keeping, landscaping, asset inventory, digitalization

Summary

The grounds keeping is an important part of the road maintenance processes. Information and data from roadside landscapes is essential for planning works. Better information will improve the functioning and management capabilities. The purpose of this study was to find out how, for the purposes of inventorying green spaces can be enhanced by utilizing inexpensive technical solutions that integrate to daily work.

The research process was conducted in two phases. The first one was documenting of environment with a smartphone within grounds keeping and maintenance contracting processes. In this phase vegetation in green spaces was documented with a smartphone. The areas were circled in order to define their areas. In addition, the goal was to recognize potential benefits that can be gained with video documenting. In the second phase two issues were examined: a) whether it is possible to produce green space surface area with a smartphone app by moving in the environment and 2) if computer vision is suitable for identification of plants from the video documents recorded in field work processes.

During the study, a steering group decided to test also defining areas of green spaces from aerial photographs or data produced from 3D point clouds. This is because the desire was to seek alternative methods after discovering the fact that circling the green spaces is not prevailing procedure in existing grounds keeping processes.

Research has been successful and following results can be reported:

The inventory of green space surface area can be carried out with a smartphone in such a way that, the phone is held in the hand and has an open view to the sky. The method produces on the basis of small sample of conducted tests, on average, less than 10% error of measured surface areas. The sample data cannot be considered statistically comprehensive, but it is likely that if processes are changed, the area information can be gained with sufficient accuracy, so that it can be used in different functions

Utilization of the open ortophotos data of the National land survey of Finland for inventorying surface areas of green spaces with computer vision is suitable for defining the green spaces, but it cannot be used for accurately measuring the surface areas of roadside cutting areas. For that purpose, additional supporting material is required.

The recognizing of plant species using computer vision was proven effective. Compared to the training data, computer vision recognized over 96% of the plants correctly. Potential large-scale adaptation of the system would require assessment of business benefits.

Esipuhe

Tutkimus on osa Liikenneviraston strategian mukaista pyrkimystä selvittää digitaalisten toimintaprosessien mahdollisuudet tehostaa työprosesseja, tuottaa laadukkaampaa tietoa johtamisen sekä kilpailuttamisen tueksi. Liikenneviraston näkökulmasta on myös merkityksellistä tuottaa tietoa miten uudet teknologiat voivat tukea toimialan kehittymistä. Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut tutkia ja ymmärtää mitä lisäarvoa videokuviin perustuva inventointi tai konenäöllä automatisoitu inventointi voi tuoda maanteiden viherhoitoon. Tutkimus on osa Liikenneviraston digitalisaatiohanketta.

Tutkimuksessa, joka toteutettiin pilotoimalla, on testattu, miten ja millaista tietoa maanteiden viheralueista saadaan tuotettua ja mihin käyttötarkoitukseen ja prosessiin tieto on hyödynnettävissä. Lopputuloksena on syntynyt käsitys videokuvapohjaisen inventoinnin eduista ja heikkouksista sekä käsitys konenäön kyvykkyydestä yksityiskohtaisiin tarpeisiin, kuten kasvilajien tunnistamiseen.

Tutkimuksen toteuttamisesta ovat vastanneet Vionice Oy ja Destia Oy Liikenneviraston toimeksiannosta. Vionice Oy on vastannut tutkimuksen teknisestä toteutuksesta tiedonkeruun ja konenäön osalta. Vionice Oy:stä tutkimuksesta ovat vastanneet Markus Melander ja Petri Hienonen. Destia Oy on tuottanut hoidon prosessiin integroituvan näkökulman sekä toiminut projektissa kasvillisuuden ja viherhoidon asiantuntijana. Tästä osuudesta Destia Oy:ssä ovat vastanneet Laura Soosalu, Tuula Karhunen ja Oiva Huuskonen. Liikennevirastossa työstä on vastannut Anne-Mari Haakana.

Työtä on ohjannut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet edellä mainittujen henkilöiden lisäksi Otto Kärki, Ismo Kohonen ja Heikki Lappalainen Liikennevirastosta sekä Arto Kärkkäinen ja Tuomo Ratia Uudenmaan ELY-keskuksesta.

Helsingissä joulukuussa 2016

Liikennevirasto
Tekniikka ja ympäristö -osasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	9
2.1	Viherhoidon tietotarpeet	9
3	KÄYTETYT MENETELMÄT	11
3.1	Inventointisovellus ja sen käytettävyys	11
3.2	Konenäkö tiedon tuottamisessa	12
3.2.1	Oppiva järjestelmä	13
3.2.2	Etäisyyden ja paikan määrittäminen	14
3.2.3	Opetukseen käytetty materiaali	15
3.3	Pinta-alatiedon tuottaminen kuvista	16
3.4	Pinta-alatieto inventointisovelluksen GPS tiedosta	17
4	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	19
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	22
6	SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI	24
	LÄHTEET	25

1 Johdanto

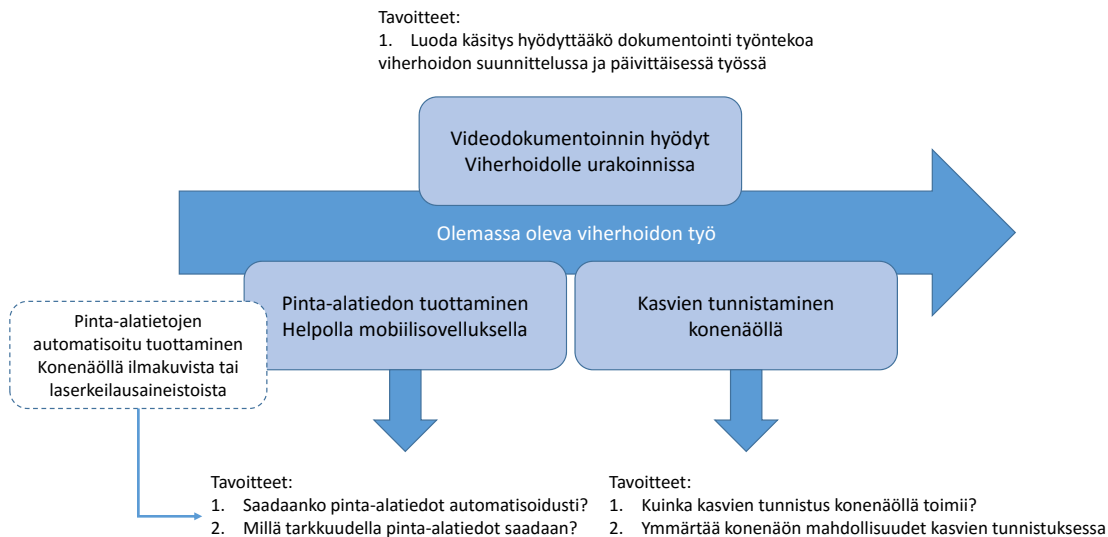
Viherhoito on laaja kokonaisuus, jonka yhtenä tavoitteena on ylläpitää tienpienareet sekä erilliset viherkuviot kasveineen siistissä kunnossa. Suurin menoerä ja toiminnallinen kokonaisuus viherhoidossa on niittotyö. Harvaan asutuissa maaseudun urakoissa vesakonraivausten osuus viherhoidon kustannuksista on kuitenkin lähes yhtä suuri kuin niittojen. Tämä projekti ei keskity varsinaisesti niittotyön suunnittelua ja toteuttamista tukevan tiedon tuottamisen tarkasteluun, vaan erillisten yksityiskohtaisempaa hoitoa vaativien kohteiden inventointiin hoitoprosessin yhteydessä.

Miksi näin? Teknologian kehittyminen on avannut mahdollisuuden tuottaa tietoa työskentelyn yhteydessä ja se avaa mielenkiintoiset kehittämisenäkymät tiedon tuottamisen näkökulmasta. Nykyiset prosessit, joissa tietoa kerätään erillisillä inventointiprosesseilla, voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa korvata jatkuvalla tiedon tuottamisella päivittäisen työn yhteydessä. Konenäöllä ja kuvamateriaalilla on tämän kehitysvision mukaisessa kokonaisuudessa keskeinen rooli.

Tutkimus ja tämä raportti jakautuvat kolmeen keskeiseen vaiheeseen:

1. Viheralueiden hoidon yhteydessä tuotettava tieto mobiilisovelluksella
2. Pinta-alojen automaattisen määrittämisen mahdollisuudet
3. Konenäön kyvykyys tunnistaa kasvilajeja

Projektin tutkimuksen viitekehys on esitetty **kuvassa 1**.



Kuva 1. Tutkimuksen viitekehys ja tavoitteet.

2 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tutkimuksen taustalla on halu parantaa viherhoidosta syntyvää tietoa ja viheralueista tietojärjestelmissä olevaa tietoa. Konenäkö arvioitiin tässä mahdollisuudeksi, jota ei ole aikaisemmin Liikenneviraston projekteissa laajamittaisesti tässä kontekstissa tutkittu.

Hoitourakoinnilla ymmärretään tässä tutkimuksessa ELY-keskusten kilpailuttamissa hoitourakoissa tapahtuvaa viheralueiden hoitotyötä. Hoitotyön pääosan muodostaa niittotyö ja siihen välittömästi liittyvät käsin tehtävät viimeistelytyöt. Tässä tutkimuksessa mallinnettu toimintatapa voi olla osa viherhoidon prosessien tulevaisuutta, koska menetelmien ja toimintatapojen muutokset syntyvät kokeilujen ja systemaattisen kehittämisen myötä. Kokeilu on hyvä esimerkki eteenpäin katsovasta, mahdollisuuksia kartoittavasta teknisestä prosesseihin vaikuttavasta kokeilusta.

Tavoitteena oli selvittää:

- Voidaanko viheralueen tai viherkuvion pinta-alatietoja tuottaa automatisoidusti hoitotyön ohessa tai ilmakuvien sekä laserkeilausaineiston avulla.
- Millä tarkkuudella pinta-alatiedot saadaan.
- Miten konenäkö toimii kasvien tunnistamisessa.
- Ymmärtää yleisesti konenäön mahdollisuudet kasvien tunnistamisessa.

2.1 Viherhoidon tietotarpeet

Viheralueista tarvitaan tietoja kahdesta keskeisestä syystä: 1) Alueurakan toteuttamisesta vastaavat urakoitsijat tarvitsevat määrätietoja tarjouslaskentaa ja urakan toteuttamisvaihetta varten. 2) Työn suorituksen osalta urakoitsijan tulee tehdä seuranta toteutetuista toimenpiteistä ja toisaalta tilaajalla on perusteltu oikeus saada sama tieto itselleen.

Tietojen on oltava riittävän luotettavia. Viherhoito on pääosin hoidon urakoinnin kokonaishintaan sisältyvää työtä ja tarjous on voitava tehdä hallituin liiketoiminnan riskein. Tavoitteena on, että olemassa olevat tietovarastot helpottaisivat tarjousvaihetta. Asian tärkeys korostuu myös siksi, että tarjouslaskenta-aikataulu usein rajoittaa tarjouksien tekijöiden toimesta tehtävää urakoitsijoiden omien maasto-inventointien tekemistä.

Alueurakan työnsuunnittelun taso vaikuttaa oleellisesti palvelun laadun toteutumiseen. Urakoitsijalla tulee olla heti urakan alussa riittävät työajakohtaiset tiedot, jotta työt voidaan resursoida työn edellyttämien aikataulujen, erikoisosaamisen ja kalustovalintojen osalta sekä kilpailuttaa alihankinnat. Erityisesti haaste koetaan pääurakoitsijan vaihtuessa. Uuden urakan haltuunotto puutteellisin lähtötiedoin voi näkyä alhaisempana laatutasona urakan alussa ja ylimääräisenä lähtötietojen tarkennustyönä. On sekä tilaajan että palvelutuottajien etu, että viherhoidon lähtötiedot ovat riittävän hyvät.

Kohdekohtainen tietotarve kohdentuu vaativimpiin viherhoitoluokkiin. Maaseutumaisessa ympäristössä työt ovat huomattavasti yksikertaisempia ja rajoittuvat pääsääntöisesti koneelliseen niittoon. Taajamaympäristössä tilaajien toimesta laaditut kohdekortit ovat parantaneet tietotasoa huomattavasti, niiltä osin kuin niitä on saatu käyttöön.

Tietojen hallinnan näkökulmasta pääurakoitsijat tukeutuvat toiminnassaan keskeisesti tilaajan antamiin lähtötietoihin, joita ylläpidetään pääosin tierekisterissä. Kokemus on osoittanut, että nykyistä tarkempia tietoja tarvitaan erityisesti T- ja E-luokkien viheralueiden osalta. Taajama-alueilla myös rajapinnat kunnan ja ELYn vastuulla olevien alueiden välillä voivat olla epäselviä. Hoitovastuut tulisi olla selkeästi merkittynä lähtötietoihin ja olla siten kaikkien osapuolien tiedossa.

Hoitourakoinnin kilpailutuksen näkökulmasta viherhoitoluokkien ohella keskeisien yksittäinen tarvittava tunnusluku on viheralueiden niittopinta-alan ja ennen kaikkea tiensuuntaisesti tarvittavien niittoaosuuksien määrä. Tämä siksi, että niitto määrittää suurimman osan viherhoidon kustannuksista yksittäisessä urakassa. Niitto-urakan taloudellinen osuus urakan vuosittaisesta kustannuksesta vaihtelee hyvin paljon urakka-alueen mukaan. Vaihteluväliksi on arvioitu 40 000–400 000 €.

Niittojen kilpailutusvaiheessa urakoitsijat haluavat tietoonsa pinta-alojen lisäksi, niittoa hidastavat tekijät, kuten kaiteet, reunapaalut, opasteet ja merkit, valaistut alueet sekä telemaattiset laitteet. Vaativien kohteiden osalta tarvittavat tiedot ja niiden vaikutus urakkatarjoukseen sekä töiden suunnitteluun on merkittävä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laadukas tarjouksen teko sekä töiden toteuttaminen edellyttävät tietoa viherkuvioista kasvien ja niihin kohdistettavien toimenpiteiden osalta.

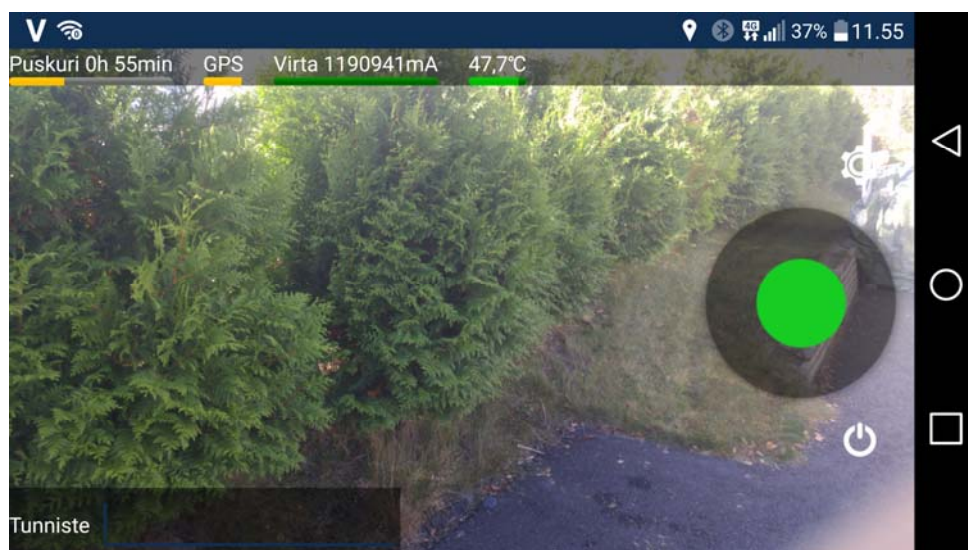
3 Käytetyt menetelmät

Projektissa kerättiin yksinkertaisella videodokumentointi sovelluksella viheralueiden tietoja tietokantaan ja ne visualisoitiin asiantuntijoille karttakäyttöliittymässä. Video-raportointia maastokohteista tehtiin Etelä-, Keski- ja Itä-Suomessa **kuva 3** mukaisella alueella. Tämän projektivaiheen merkitys oli selvittää tietojen syntymisen mahdollisuus osana työprosessia ja tutkia syntyvän videomateriaalin muita hyötyjä hoitourakoinnille.

3.1 Inventointisovellus ja sen käytettävyys

Käytössä oli matkapuhelimen Android-pohjainen videoraportointisovellus (**kuva 2**), jolla pystyi liittämään videolle yksinkertaisia metatietoja paikkatietoon sidottuna.

Tiedot esitettiin georeferoituna karttakäyttöliittymässä (**kuva 3**). Videoiden selaaminen, etsiminen ja katseleminen sovelluksella oli tehty helpoksi.



Kuva 2. Kuva mobiilisovelluksesta (kuva Vionice Oy)



Kuva 3. Karttakäyttöliittymä kuvien/ videoiden katseluun (Kuva Vionice Oy)

Destian asiantuntijoiden käyttökokemusten perusteella havaittiin videoraportoinnista seuraavia asioita:

1. Videomateriaali hyödyttää parhaiten hoitotyön suunnittelua ja kasvuston kunnon arviointia silloin kun videomateriaali on teknisesti laadukasta, eli valaistus on hyvä ja kuvaus on tehty kattavasti. Lajit tulee olla myös selvästi tunnistettavissa.
2. Kuvauksen suorittaminen olisi hyvä ohjeistaa, esimerkiksi sopiva kuvausajankohda ja etäisyys.
3. Työprosessin yhteydessä voi olla hankala saada riittävän hyvää kuvaa. Kypäräkameraratkaisulla saatettaisiin saada tällaista tilanteissa, jossa on käsin tehtäviä töitä. Ajoneuvotyöt ja ajoneuvosta tapahtuva kuvaaminen tuottaa kuvan, josta ei kasvien kuntoa kyetä päättämään.
4. Oikein tehtynä syntyy selkeä dokumentti kasvillisuuden sen hetkisestä kunnosta, jonka pohjalta voidaan arvioida esimerkiksi talvivauriot yms.
5. Myös videoiden katselu vie aikaa, mutta tässä varmasti muodostuu rutiineja, jolloin katselu ”tehostuu”. Tätä siis kannattaa kehittää eteenpäin. Nykytilanteessa lähtötiedot voivat olla todella heikot ja kartat vanhentuneita.
6. Kuvamateriaalista on hyötyä urakan aikana tarvittavaan lisätietoon, esim. lisätyöt ja niiden tarjouslaskenta. Materiaalia voi hyödyntää myös kommunikointiin tilaajan kanssa.

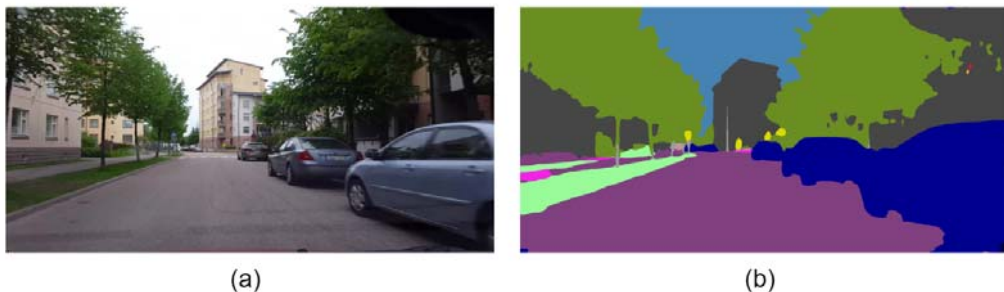
3.2 Konenäkö tiedon tuottamisessa

Konenäkö on kehittynyt viime vuosina tieteellisestä menetelmäkehityksestä markkinoilla kuluttajien käytössä oleviksi tuotteiksi. Suurin ero kaupallisen ja tieteellisen toiminnan välillä on se, että isoon osaan ongelmista ratkaisuksi ei riitä pelkkä aineiston tulkinta. Toimiva kokonaisuus edellyttää, että aineiston tulkinnan ympärille rakennetaan toimintamallit jotka tukevat prosessien suorittamista tehokkaammin. Näin resursseja voidaan siirtää sinne, missä niillä saavutetaan suurin positiivinen vaikutus.

Automaattisen kuvantulkinta koostuu tyypillisesti useista erilaisista menetelmistä. Tähän tutkimukseen valikoidut menetelmät ja niiden soveltaminen on esitetty alla:

1. **Tunnistaminen:** Kohteiden tunnistamiseen kuvasta käytetään koko kuvan jakamista alueisiin (segmentointi) **kuvan 4** mukaisesti. Jaettujen alueiden perusteella kohteet jaetaan viherkohteiksi (kuva 4 b) jotka tiettyjen kriteereiden perusteella (etäisyys, alueen koko) arvioidaan olevan mahdollisesti projektissa etsittäviä kasveja. Nämä kandidaatit siirtyvät edelleen luokitteluvaiheeseen.
2. **Luokittelu:** Tunnistetut kohteet luokitellaan käyttäen syväoppimiseksi (deep learning) kutsuttua lähestymistapaa, joka perustuu aiemmin kasveista kerätyn kuva-aineiston opettamista koneelle. Opetusvaiheen jälkeen malli vakioidaan ja sen jälkeen sitä voi käyttää kohteiden (kuten aiemmasta vaiheesta tulevien laatikoiden) luokittelussa. Luokitellut alueet siirtyvät eteenpäin paikottamisvaiheeseen. Kokeilussa käytetyn verkon rakenteen pohjana käytettiin Googlen Inception V3 versiota. /1/

3. **3D mallin luominen:** 3D mallin luomiseen paikoitusta varten käytetään analyttistä Structure-from-Motion menetelmää. Menetelmä olettaa kameran olevan ainoa liikkuva kohde minkä takia videoista poistetaan liikkuvat ajoneuvot ja muut vastaavat kohteet kuten pilvet. Pistepilvi siirretään WSG84 koordinaatistoon jatkokäyttöä varten referoimalla se kerättyyn GPS signaaliin.
4. **Paikoittaminen:** Paikoituksessa tunnistetun kohteen kohdalta 3D-pistepilvestä poimitaan kohteen kohdalta pisteet suhteessa kameran näkökenttään ja sijoitetaan kohde WSG84 koordinaatistoon. Samalla kohteita seurataan niin että peräkkäisissä kuvissa sama kohde vastaa vain yhtä kohdetta.
5. **Klusterointi:** Vaikka kohteita seurataan, on mahdollista, että kohteita tulee pienemmältä alueelta enemmän kuin mitä tiedon hyödyntäminen tarvitsee. Tämän takia liian lähellä toisiaan olevat kohteet yhdistetään ns. klusteriksi.



Kuva 4. Esimerkki viherkohteiden tunnistaminen viheralue projektissa. (a) alkuperäinen kuva, (b) konenäön tulkinta siitä miten kuva on jaettavissa osiin, eri värit tarkoittavat eri tyyppisiä kohteita).

Tässä projektissa automaattinen tiedontulkinta jakautui menetelmien osalta monimutkaisempaan katutasen tiedon tuottamiseen sekä yksinkertaisempaan laserkeilausaineistojen tulkintaan. Katutasen videon tulkinta muodostaa monimutkaisemman kokonaisuuden, koska se koostuu useammasta erilaisesta konenäkö komponentista.

Yleisesti konenäkö suoriutuu tehtävistä, jotka ihminen pystyy videosta tai kuvasta ratkaisemaan. Tietynlaisen puutteen konenäön ja automaattisen tulkinnassa aiheuttaa se, että tietojärjestelmälle kontekstin ymmärtäminen on vaikeaa. Kontekstilla tässä yhteydessä tarkoitetaan korkeampien riippuvuussuhteiden ja ajan etenemisen ymmärrystä.

3.2.1 Oppiva järjestelmä

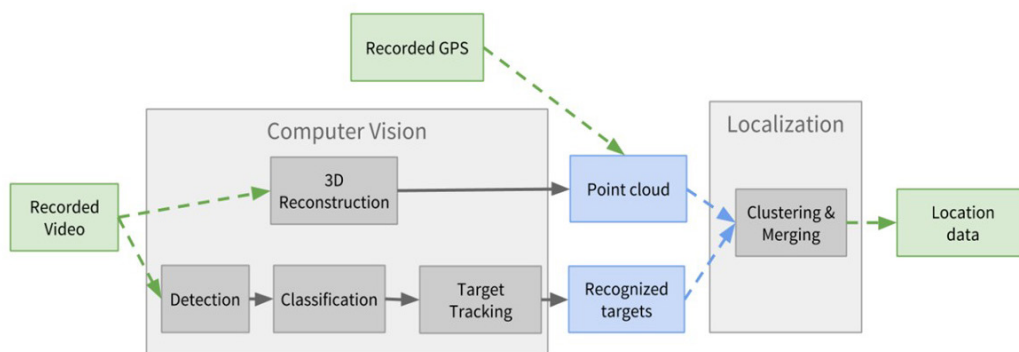
Koulutusmateriaalin perusteella oppiminen on muodostunut merkittävimmäksi tekijäksi yksittäisten kuvien tulkinnan perusteella tapahtuvassa suorituskäytössä. Uudemmat konenäkömenetelmät vaativat tietyn käyttötarkoitusta varten kerätyn aineiston luomista, jota voidaan hyödyntää konenäkömenetelmän kouluttamisessa. /2/ Laajoille aineistoilla kerättyjen menetelmien suorituskäytö on suoraan verrattavissa ihmisen suorituskäytöön, usein ylittäen sen, rajoitteet tulevat vain opetusaineiston laajuudesta. /3/ /4/ Toisen rajoitteen konenäkölle asettaa kuvan prosessointiin käytettävissä oleva aika. Mitä nopeammin konenäkö tulisi toimia, sitä enemmän järjestelmään kohdistuu prosessointitehoon liittyviä vaatimuksia.

Konenäön erilaisesta menetelmäkehityksestä ja suorituskyvystä on olemassa valmiina suuria avoimia tietoaaineistoja. Nämä ovat syntyneet yleensä suurten yliopistojen järjestämissä kilpailuissa siitä, mikä menetelmä saavuttaa parhaat tulokset tietynlaista aineistoa vastaan. Viime aikoina näitä vertailuaineistoja on hyödynnetty tieteellisten tulosten varmistamisessa ja vertaamisessa. Tämä on nopeuttanut yleisellä tasolla konenäkömenetelmien kehittymistä.

Konenäkö teknologian suurimmat ei-akateemiset ongelmat liittyvät tiedon keräämiseen ja riittävän koulutusmateriaalin luomiseen. Alla olevassa **kuvassa 6**, on esitetty, kuinka koulutusmateriaalia tässä projektissa tuotettiin katutason kuvamateriaalia hyödyntäen. Kuvassa vihreät laatikot kuvaavat tietoa, siniset välituloksia ja harmaat tiedolle suoritettavia operaatioita. Monimutkaisuutta luo se, että sisään tulee videomateriaalia ja kokonaisjärjestelmästä tiedonkeruusovelluksesta tuloksiin on arkkitehtuuriltaan moniosainen.

Huomionarvoista on se, että konenäkö menetelmän vieminen käytäntöön vaatii usein useita ”palautekierroksia”, algoritmit oppivat usein aluksi vääriä asioita tai aineistossa on puutteita. Kun lisätään materiaalia sellaisista tilanteista, jotka ennen palautekierrosta ovat järjestelmälle vaikeita tai tulokset virheellisiä, voidaan ”palautekierrosten” avulla kehittää algoritmia.

Menetelmää kutsutaan koneoppimisen piirissä ohjatuksi oppimiseksi (eng. Supervised learning). Jos ongelman lopputuloksen hyvyys on mahdollista määrittää tarkasti, on mahdollista käyttää vahvistavan oppimisen (eng. Reinforcement learning) menetelmiä, joissa kone pystyy etsimään itsenäisesti parempaa ratkaisua. Konenäön kannalta aidon suorituskyvyn luomiseen tarvittavan aineiston määränä voidaan pitää vähintään 200–1000 kuvaa jokaisesta erilaisesta opetettavasta kohteesta. Tässä kokeilussa kerättiin siis aineistoa vain juuri ja juuri sen verran, että suorituskyykyä kyettiin osoittamaan tutkimuksen tavoitteita vastaavalla tavalla.



Kuva 6. Videoiden muuttaminen paikkatiedoksi

3.2.2 Etäisyyden ja paikan määrittäminen

Kuvasta on mahdollista määrittää melko tarkasti kameran liikkeitä ja etäisyyksiä kohteisiin hyödyntäen sitä, että eri etäisyyksillä olevat kohteet liikkuvat liikkeen perusteella eri nopeuksilla riippuen etäisyydestä kameraan. Tätä ominaisuutta hyödyntäen on mahdollista päästä noin 30 cm tarkkuuteen paikan määrittäksessä videon perusteella. Menetelmät tunnetaan yleisellä tasolla englanninkielessä nimillä ”structure from motion” tai ”simultaneous localization and mapping”. Esimerkiksi Kitty

Benchmarkin sivuilta löytyy erilaisten tutkimusten tulosten vertailua aiheesta. /5/ Esimerkki vuonna 2016 uusimpien menetelmien tasosta löytyy Münchenin yliopiston julkaisemasta tutkimuksesta, joka on heidän kymmenen vuotta jatkuneen tutkimuksensa paras menetelmä. /6/

3.2.3 Opetukseen käytetty materiaali





Konenäön kouluttamista varten kerättiin videoista ensimmäinen aineisto käyttäen verkkokäyttöliittymää, jossa oli mahdollista merkitä projektissa kerätyistä videoista kasvit. Esimerkki materiaalista, josta annotointia suoritettiin, on esitetty **kuvassa 7**.



Kuva 7. *Esimerkki kuvasta jossa kasvillisuutta on näkyvillä vasemmassa reunassa*

Videokuvista kerättiin manuaalisesti **taulukon 1** mukainen aineisto jota käytettiin opimisen alustamiseen.

Taulukko 1. Kerätty opetusaineisto ja aineoston määrät

Kuva	Nimi	Määrä
	Pihlaja-angervo	444
	Lupiini	370
	Kurttulehtiruusu	227
	Sinikuusama	169

Kasvien kanssa pienen haasteen lyhyen projektin näkökulmasta muodostaa se, että niiden ulkonäkö muuttuu merkittävästi riippuen eri vuodenaajoista, kasvien kasvu-ympäristöistä sekä kunnosta. Suorituskyvyksi määrittyy riittävällä koulutusaineistolla sama kyky kuin ihmisellä. Jos ihminen pystyy kuvasta kasvin löytämään ja tunnistamaan, voidaan sama tehdä automaattisesti esimerkkejä opettamalla.

3.3 Pinta-alatiedon tuottaminen kuvista

Ilmakuvista ja laserkeilausaineistosta luotavaa automaattista pinta-alojen määrittämisistä on tutkittu aiemmin esimerkiksi Maanmittauslaitoksen (MML) aikaisemmassa tutkimuksessa ajantasaisuuden näkökulmasta. /7/ Se, minkä takia tällainen tiedon automaattinen tuottaminen ei ole muodostunut osaksi prosesseja ja/tai vastaavaa materiaalia ei ole saatavilla MML:n palveluista, viittaisi siihen, että suorituskyky ei ole riittävällä tasolla käyttöönottoa varten. Tästä syystä asiaa lähdettiin selvittämään projektissa nimenomaisesti liittymäalueiden viheralueiden pinta-alojen ja puuston/istutusten pinta-alojen osalta.

Työssä lähtömateriaalina päädyttiin käyttämään Maanmittauslaitoksen avointa ilma-kuva-aineistoa. Demonstraatiota varten annotoitiin muutama sata kuvaa pikselitasolla viheralueisiin, teihin ja tausta kohteisiin. Oletuksena oli, että hyvällä ja kattavalla aineistolla päästään likipitään samaan suorituskyykyyn kuin mihin ihminen pystyy ilmakuvien arvioinnissa. Uusien luokkien (esim. metsä) kouluttaminen konenäköjärjestelmälle parantaisi mahdollisesti suorituskyykyä, sillä tämä toisi mukaan sellaista kontekstia jota, projektin aikataulun vuoksi, ei nyt kyetty kokeilussa käytetyn järjestelmän koulutuksessa huomioimaan.

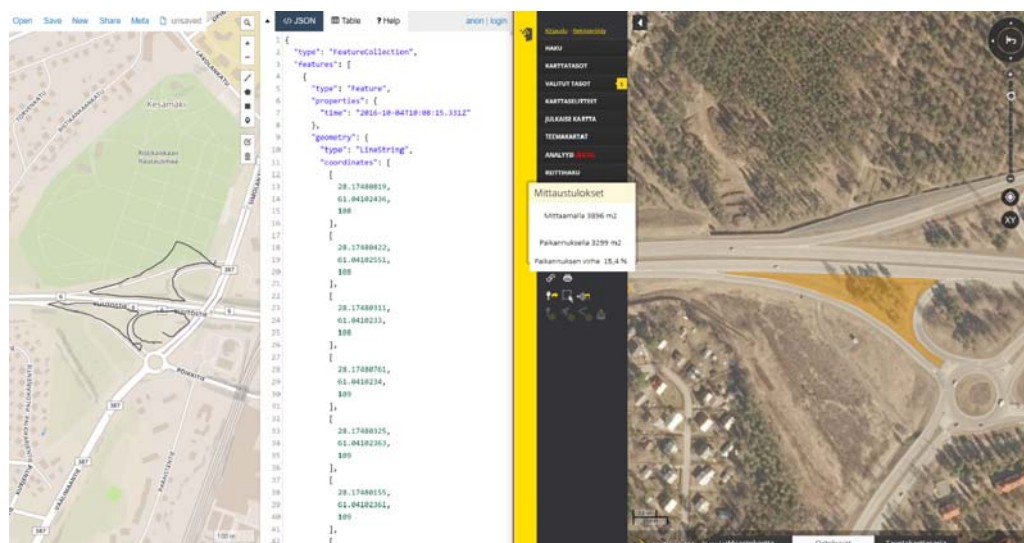
Ilmakuvien tulkintaan käytettiin pikselipohjaista kuvan osiin jakoon. Näin määritettyjen alueiden pinta-ala pystytään suoraan määrittämään laskemalla alueen koko kuvan vakiokokoisista pikseleistä.

3.4 Pinta-alatieto inventointisovelluksen GPS tiedosta

Pinta-ala tiedon määrittämiseksi puhelimella valittiin 12 esimerkkikohdetta. Kohteiden vähäinen määrä selittyy sillä, että hoitourakoitsijan työprosessissa ei ollut työvaihetta, jossa alueet olisi kierretty luontevasti työn ohessa. Vertailu toteutettiin **kuvassa 7** esitetyllä tavalla. Vasemmalla näkyy inventointisovelluksella kerättyjä kävelylinjoja ja oikealla näkyy mittaus, joka on tehty ilmakuvan päällä digitoimalla polygonin kulmapisteet. Näin paikannettuja ja mitattuja alueita verrattiin keskenään.

Menetelmän heikkoutena on se, että se ei vastaa hoitourakoitsijan urakkalaskentojen kannalta keskeistä tarvetta, eli tietoa siitä, kuinka monta niittokoneen ajoa viherkaisuilla tulee tehdä tien suunnassa.

On tärkeä tunnistaa, että paikannusvirhettä syntyy myös työasemalla inventoituna, eikä vertailu siten ole absoluuttinen, mutta se tuottaa tässä tapauksessa riittävän tarkan aluetiedon suhteessa operatiiviseen tarpeeseen.



Kuva 7. Kerättyjä ja manuaalisella mittausvälineillä paikannettuja alueita

Automaattisen laskennan kannalta GPS-sijainnit eivät yhdy alku- ja loppupisteen osalta. Nämä päädyt yhdistettiin suoralla pinta-alan määrittystä varten. Haluttaessa tarkempaa aluetietoa puhelin olisi mahdollista varustaa n. 300 € maksavalla langattomalla lisäantennilla. Näin mittaustulokset paranisivat merkittävästi.

4 Tulokset ja niiden tarkastelu

Kokeilussa syntyneet tulokset on tiivistetty tähän lukuun. Tutkimuksen valossa tulokset olivat:

1. Syntynyt ymmärrys, että viheralueiden pinta-alatiedot voidaan tuottaa mobiili-sovelluksella.
2. Vahvistunut käsitys, että ilmakuvien sekä laserkeilausaineistojen käyttömahdollisuudet automaattisen pinta-alatiedon tuottamiseen ovat olemassa, mutta tämä tarvitsee vielä lisää kehitystyötä ja laajempaa opetusaineistoa
3. On syntynyt tietoa siitä, mitä hyötyä videopohjaisesta dokumentoinnista ja raportoinnista voisi olla viherhoidosta vastaavalle urakoitsijalle, hänen alihankintaketjulleen sekä tilaajalle.
4. Konenäköjärjestelmän kyvykyys kasvien tunnistamiseen on mahdollista luoda mobiilisovelluksen tasoisesta videokuvasta. Tutkimuksen suppealla aineistolla saavutettiin 96 % tunnistustarkkuus.

Projektin videoaineistoja on mahdollista tarkastella karttakäyttöliittymästä vuoden 2018 loppuun saakka osoitteessa: <https://viheralue.vionice.io>. Palvelun käyttäjä-tunnus: *viheralue* ja salasana: *sinikuusama*.

Pinta-alatiedon tuottaminen

Pinta-alatietojen osalta tulokset olivat lupaavia. Pinta-alatiedot saadaan syntymään yksinkertaisella ja edullisella menetelmällä, jos joku henkilö kiertää viheralueet jalan. Samalla syntyvä kuva-aineisto voisi olla tiedon lähteenä käytännöllinen. Pinta-alatieto on merkityksellinen lähinnä niillä hoitoluokilla, joilla koko alue niitetään. Tutkimuksen perusteella GPS-pohjainen pinta-alamääritys voi toimia ratkaisuna pinta-alojen määrittämiseen. Asian jatkokehitys edellyttää, että sille löytyy liiketaloudellista arvoa.

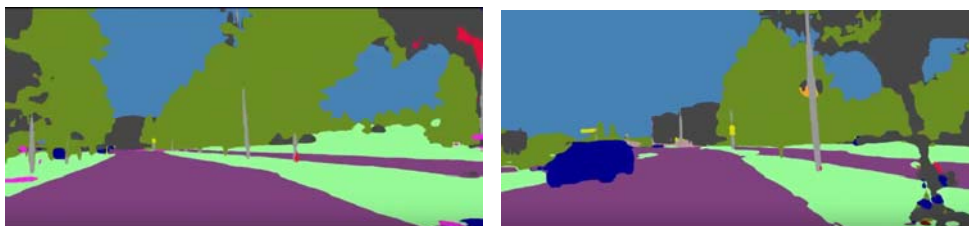
Oheisessa **taulukossa 2** käy ilmi hyvin pinta-alojen koon tarkkuuden määrittymisen onnistuminen. Referenssinä on käytetty ilmakuvista manuaalisesti määritettyä pinta-alaa. Viheralue.vionice.io -palvelussa olevat geometriat referoivat tien keskilinjoihin ollessaan lähellä tietä ja siksi palvelun visuaalinen esitys ei sovi vertailukohdaksi. Inventointisovelluksen GPSX-tiedostot ovat puhelimen keräämän GPS-tiedon mukaisia. Laskenta on tehty tästä GPS-signaalista määrittyneiden polygonien mukaisesti.

Keskimääräinen virhe 12 viherkuvion otoksessa oli 6 prosenttia.

Taulukko 2. Vertailu paikannuksella ja ilmakuvista mitattuna pinta-alojen osalta

	Mitattu	Paikannettu	% mitatusta	% heitto
alue 1	4203	3824	0,909826315	-9 %
alue 2	5694	9525	1,672813488	67 %
alue 3	3896	3299	0,846765914	-15 %
alue 4	5155	5002	0,970320078	-3 %
alue 5	164	197	1,201219512	20 %
alue 6	207	230	1,111111111	11 %
alue 7	98	108	1,102040816	10 %
alue 8	210	228	1,085714286	9 %
alue 9	730	655	0,897260274	-10 %
alue 10	1450	1570	1,082758621	8 %
alue 11	240	232	0,966666667	-3 %
alue 12	285	245	0,859649123	-14 %
Mittauksen ja paikannuksen virheen keskiarvo				6 %

Pinta-alatiedon tuottaminen ilmakuvien osalta edellyttää edelleen pidemmälle vietävää menetelmäkehitystä. Konenäköjärjestelmän koulutus vaatisi laajempaa pikselistason annotointia mihin tässä projektissa oli aikaa ja taloudellisia resursseja. Projektin yhteydessä toteutetussa demonstraatiossa osoittautui kuitenkin, että niitettävät viheralueet kyetään tuottamaan ilmakuvista käyttäen menetelmää, jota sovellettiin katutasen kuviin projektin yhteydessä. (vrt. kuva 8). Katutasen kuvien kautta pinta-alatietoa ei saada, koska niistä pinta-alojen laskeminen ei onnistu.



Kuva 8. Konenäöllä erotellut tie- ja piennaralueet

Tutkimuksen perusteella markkinoilta voidaan vaatia teknistä menetelmää viheralueiden automaattiseen pinta-alamäärittelyyn.

Kasvien tunnistaminen

Kasvien tunnistamisen osalta tutkimus osoitti, että kasvien tunnistaminen on mahdollista yllättävän hyvin opetusaineiston aiheuttamista rajoitteista huolimatta. **Taulukossa 3** on esitetty luokittelun tarkkuus todennäköisyytenä siitä, miten hyvin luokittelu kuhunkin kasvilajiin toteutuu.

Yhteenvedona voidaan todeta, että markkinoilta voidaan olettaa kyvykkyyttä automaattiseen kasvien tunnistamiseen konenäöllä. Tällaista markkinaehtoista sovellusta ei kuitenkaan ole olemassa. Todennäköisesti se johtuu siitä, että kasvi-tunnistuksen taloudellinen arvo ei ole merkittävä.

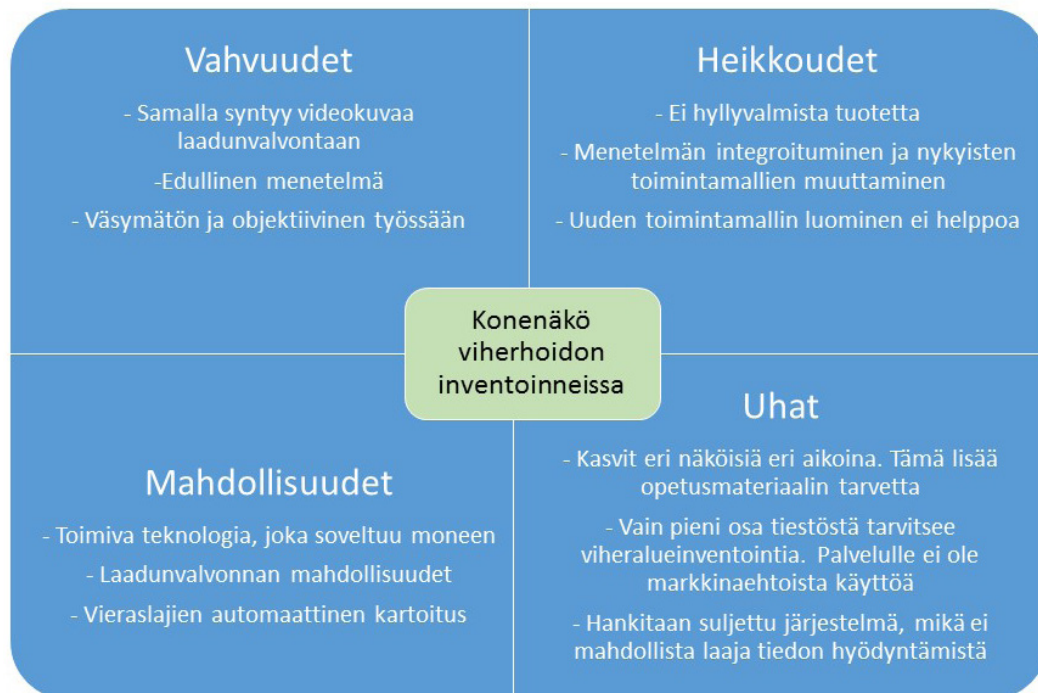
Taulukko 3. Kokeilussa tunnistettujen kasvien luokittelu tarkkuus opetetusta aineistosta sekä testiaineistoa vastaan, jossa testaus tehtiin 10 % otosta opetusaineiston ulkopuolelta otetuista videoista

Nimi	Määrä	Luokittelu virhe (kpl)	Suhteellinen luokittelun virhe (-%)
Pihlaja-angervo	169	0	0 %
Lupiini	366	3	0,81 %
Kurtturehtiruusu	228	2	0,88 %
Sinikuusama	443	1	0,23 %
Konenäön kyvykkyyttä kokeiltiin 10 %:n kokoiseen kuva-aineistoon opetusaineiston määrästä. Tuloksena saatiin, että annetuista kuvista (17 Pihlaja-angervoa, 37 Lupiinia, 23 Kurtturehtiruusua ja 44 Sinikuusama-kuvaa) 96 % tunnistettiin oikein . 4 % tunnistuksista ei onnistunut. Yhtään tunnistusta ei mennyt väärään kasviluokkaan.			

5 Johtopäätökset

Projektin johtopäätökset ovat esitetty tiivistä tässä:

1. Pinta-alan määrittämisen osalta voidaan todeta, että mobiilisovellus varustettuna lisäantennilla tuottaisi ehdottomasti riittävällä tarkkuudella viheralueiden geometriat ja tieto olisi tuotettavissa ajoneuvolla tai alueen ympäri kävelemällä. Käytännön prosessit eivät kuitenkaan sisällä jalan tapahtuvaa viheralueiden kiertämistä, joten tiedon ylläpitoprosessia ei voida muodostaa nykyisiin hoidon prosesseihin nojaten. Pinta-alatiedon tuottaminen konenäöllä ilmakuviin on mahdollinen menetelmä, jonka jatkokehitykseen tulee panostaa, mikäli siitä halutaan tuotantokelpoinen ratkaisu.
2. Projektin aikana opittiin, että kasvien tunnistamiseksi tapahtuva kuvaaminen tulisi tehdä riittävän läheltä. Tämän johdosta ei kaikki tuotettu materiaali palvellut konenäkökokeilua. Jatkossa tulee johtoajatuksena pitää sellaista kuvausetaisyyttä, josta kasvilajit ovat ihmissilmän tunnistettavissa. Mikäli valaistus- ja sääolosuhteet ovat heikot, tulisi kasvilajista ottaa lähikuvaa manuaalisen tunnistamisen varmistamiseksi. Tämä on tärkeää ainakin uusien lajien opettamisen yhteydessä.
3. On tunnistettu, että viheralueiden inventoinnin vähäisen markkina-arvon takia kuvausratkaisun, kuvien hallinnan ja automaattisen kuvatulkinnan osalta on syytä keskittyä kokonaisuuteen, jossa viheralueen vaatimat inventoinnit toteutetaan osana varuste- ja laiteinventointia. Tällöin konenäön ja prosessien näkökulmasta ollaan riittävän suuren volyymin kanssa tekemisissä. Markkinoilla olevien toimijoiden näkökulmasta ratkaisulla olisi myös kaupallista arvoa viennin näkökulmasta.
4. Projektin aikana laadittiin swot-analyysi (**kuva 10**) kokeilun kohteena olevan menetelmän mahdollisuuksista. Sen tuloksina voidaan tiivistää, että edullinen lisäarvo viherhoidossa kiinnostaa, mutta keskeinen tarve kasvien inventoinnissa kohdistuu vain pienelle osalle tieverkon laajuudesta. Tämän johdosta ei ole kaupallisesti järkevää ottaa käyttöön sovelluksia kasvien automaattisessa tunnistuksessa. Kuitenkin esimerkiksi vieraslajien alueiden/ levinneisyyden analysoinnissa sovelluksella voisi olla arvoa.



Kuva 10.

SWOT-analyysi kokeillun järjestelmän herättämistä ajatuksista

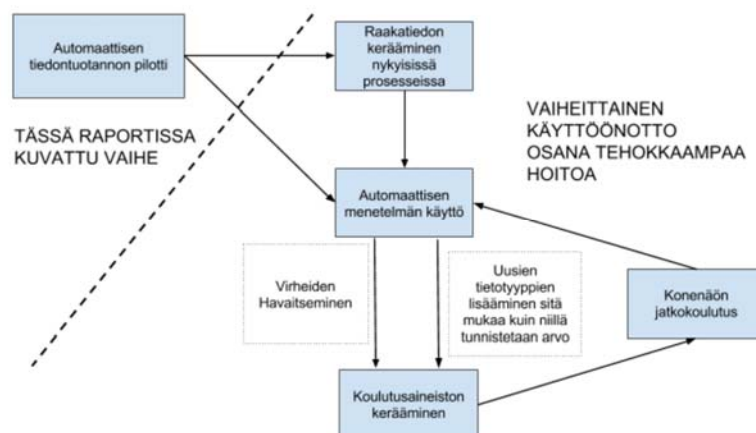
6 Suositukset jatkotoimenpiteiksi

Tutkimuksen valossa halutaan esittää seuraavat jatkotoimenpide-ehdotukset:

1. Hoitourakoitsijoiden tulee arvioida, miten heidän työnsä tai aliurakoitsijan työn yhteyteen voidaan integroida kuvatuotanto konenäköjärjestelmien raakadatan tuottamiseksi
2. Liikenneviraston tulee harkita vaatimusta viheralueiden kuvapohjaisen dokumentoinnin liittämistä osaksi hoitourakointia. Tätä vaatimusta ei kannata arvioida pelkästään viherhoidon näkökulmasta. Pohjoisilla hoitoalueilla ollaan jo jatkuvan kuvan osalta tehty alustavia päätöksiä ja kuvan tuottamista halutaan integroida osaksi hoidon prosesseja.
3. Liikenneviraston tulee huomioida tiestötietojen ylläpitojärjestelmän perustamisvaiheessa, että niiton kannalta hidastavat tekijät, kuten kaiteet, reunapaalut, opasteet ja merkit sekä valaistut alueet ovat tietokannassa riittävällä tarkkuudella ja hyödynnettävissä tarjouslaskennan ja urakoiden suunnittelun yhteydessä.
4. Liikennevirasto voi halutessaan hankkia markkinoilta konenäköpalvelun, jossa toimintojen yhteydessä syntyvästä kuvamateriaalista voidaan inventoida varuste-, laite- ja viherhoidon kohteet. Tällainen kunnianhimoinen digitalisaatiokehityksen askel on tutkimuksen perusteella mahdollinen ja sillä olisi positiivisia vaikutuksia urakoiden kilpailutuksen ja toteuttamisen näkökulmasta.

Kuva 11 esittää mallin kohti automaattisen tiedontuotannon käyttöönottoa osana digitalisaatiota. Käytännössä aina, kun uusia tietolajeja halutaan tunnistaa, voidaan niiden automaattinen tunnistus ja inventointi toteuttaa 4–6 viikon työllä riippuen ongelman vaikeudesta. Tässä pilotissa luotu menetelmä katutason videomateriaalin hyödyntämisen ja tallentamiseen maksaa nettokuluina prosessointiaikana noin 500€ per 720h videota.

5. Nykyisen kaltaisen järjestelmän kehittäminen vieraslajien tunnistamiseen ja inventointiin voisi olla perusteltua, mikäli nähdään realistisena, että sillä on vaikutusta niitto-ohjelmointiin ja sitä kautta kasvien leviämisen rajoittamiseen.



Kuva 11. Esitys konenäköjärjestelmän tuotantokäyttöisestä toiminta-arkkitehtuurista

Lähteet

- /1/ Improving Inception and Image Classification in Tensorflow
Alex Alemi, Google
<https://research.googleblog.com/2016/08/improving-inception-and-image.html>

- /2/ What a Deep Neural Network thinks about your #selfie
Andrej Karpathy, Oct 25, 2015 <http://karpathy.github.io/2015/10/25/selfie/>

- /3/ ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge
Olga Russakovsky, Jia Deng, Hao Su, Jonathan Krause, Sanjeev Satheesh, Sean Ma, Zhiheng Huang, Andrej Karpathy, Aditya Khosla, Michael Bernstein, Alexander C. Berg, Li Fei-Fei
(Submitted on 1 Sep 2014 (v1), last revised 30 Jan 2015 (this version, v3))
<https://arxiv.org/abs/1409.0575>

- /4/ Microsoft COCO: Common Objects in Context
Tsung-Yi Lin, Michael Maire, Serge Belongie, Lubomir Bourdev, Ross Girshick, James Hays, Pietro Perona, Deva Ramanan, C. Lawrence Zitnick, Piotr Dollár
(Submitted on 1 May 2014 (v1), last revised 21 Feb 2015 (this version, v3))
<https://arxiv.org/abs/1405.0312>

- /5/ Vision meets Robotics: The KITTI Dataset
Andreas Geiger and Philip Lenz and Christoph Stiller and Raquel Urtasun,
<http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/> 2013

- /6/ Direct Sparse Odometry (J. Engel, V. Koltun, D. Cremers)
<https://arxiv.org/abs/1607.02565>
<http://vision.in.tum.de/research/vslam/dso>
In arXiv:1607.02565, 2016

- /7/ Laserkeilaus- ja kuva-aineistojen automaattinen tulkinta karttojen ajantasais-
tuksessa. Leena Matikainen, Juha Hyypä, Kirsi Karila, Matti Vaaja ja Antero
Kukko.
Saatavilla: https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Matikainen_et_al.pdf

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-344-6
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto